

органами. Применение комбайнов на Артемовской гипсовой шахте позволило повысить коэффициент извлечения гипса на 6 - 10%, обеспечить совмещение в едином процессе добычи и подготовку гипса для потребления, а выработанных пространств для повторного использования. Внедрение машинной технологии обеспечило темпы проходки выработок 250 - 500 пог. м в месяц, повышение устойчивости подземных камер и полноту извлечения гипса, рост в 2 - 4 раза производительности труда подземных рабочих, исключение операций дробления гипсового камня на поверхности и ее запыление, снижение на 17 - 20% себестоимость одной тонны гипса. В совокупности это значительно повысило показатели комплексного освоения Артемовского месторождения гипса по факторам минерально-ресурсного и производственного потенциала, а также эколого-экономическим показателям. Предложенные подходы и разработки имеют перспективу применения на месторождениях гипса в Прикарпатье и других нерудных месторождениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усаченко Б.М. Геомеханика подземной добычи гипса. – Киев: Наук. думка, 1985. – 216 с.
2. Папернов М.М., Зильберборд А.Ф. Производственные и складские объекты в горных выработках. – М.: Стройиздат, 1984. – 184 с.
3. Совершенствование техники и технологии добычи блоков природного камня: ВНИИЭСМ. – М.: 1986. – сер. 7. – Вып. 1. – 13 с.
4. Строительные материалы и конструкции. – 1990. – №1. – С. 17.

УДК 622.831

Л.Я. Парчевский, А.А. Татаринов, А.Н. Шашенко

УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ПУЧАЩИХ ПОРОД В СТАТИСТИЧЕСКИХ ОЦЕНКАХ

Потеря устойчивости основных капитальных и подготовительных выработок в угольных шахтах ряда регионов происходит в значительной степени за счет пучения пород почвы.

В условиях высоких концентраций напряжений окружающие выработку

породы переходят в предельное пластическое состояние, сопровождающееся разуплотнением горных пород вокруг выработки. Так как со стороны почвы выработки нет отпора крепи, расширение пород при пластическом предельном состоянии реализуется в виде выдавливания (пучения) пород почвы.

Для того, чтобы этот процесс начал осуществляться, необходимо, чтобы область неупругих пластических деформаций достигла определенных размеров, т. е., начало процесса пучения является предельным состоянием, при наступлении которого начинается процесс выдавливания пород почвы.

Размер зоны является сложной функцией, зависящей от глубины расположения выработки, свойств и состояния вмещающих выработку пород, параметров применяемой крепи. Оценкам размеров этой зоны посвящен ряд работ [1,2,3,4].

Размер этой зоны определяется в относительной мере: если сечение выработки приравнять к круглой выработке с определенным радиусом, то размер зоны неупругих деформаций можно оценивать безразмерным радиусом r_L как отношение радиуса зоны неупругой деформации к радиусу выработки.

Таким образом, процесс пучения возникает тогда, когда радиус зоны неупругой деформации вокруг выработки достигает такого значения r_L^* , при котором наступает предельное состояние, т. е., при $r_L = r_L^*$ [4].

Это однозначное условие позволяет оценить устойчивость выработки в данном ее сечении S в виде отношения

$$K_y = \frac{r_L^*(S)}{r_L(S)}, \quad (1)$$

которое назовем коэффициентом устойчивости выработки. Предельное состояние в данном сечении наступает, когда $K_y(S) = 1$. При $K_y(S) > 1$ - выработка устойчива, при $K_y(S) < 1$ - неустойчива, возникает процесс пучения.

Выражение (1) определяет значение коэффициента устойчивости в сечении S выработки длиной L , которая вся в целом исследуется на устойчивость. Значение коэффициента устойчивости меняется от сечения к сечению и эти изменения носят случайный характер, следовательно, величина коэффициента устойчивости является случайной функцией сечения S , а состояние выработки в данных горно-геологических условиях является реализацией случайной функции (1). Наличие в аналогичных условиях других выработок

образуют «семейство» реализаций этой функции.

Здесь важно подчеркнуть, что для решения задачи обеспечения устойчивости выработок наличие реализации или «семейства» реализаций являются мощным источником информации, так как указанные выработки можно рассматривать как шахтный эксперимент для статистических исследований и обобщений. Таким образом, шахтный опыт может стать источником для глубоких научных исследований и обобщений.

Будем рассматривать выработки, которые проходится примерно в одних и тех же горно-геологических условиях и крепятся одной и той же крепью, тогда случайную функцию (1) можно отнести к классу стационарных случайных функций. Математическое ожидание и дисперсия таких функций не зависят от аргумента S , то есть

$$\begin{aligned} m_k(S) &= m_k = \text{const}; \\ D_k(S) &= D_k = \text{const} \end{aligned} \quad (2)$$

Основной критерий, определяющий переход породного массива вокруг выработки в неустойчивое упругопластическое состояние, предложенный в работе [4], имеет вид

$$\bar{\varepsilon}_V r_L^{*2} \ln r_L^* - 2 = 0 \quad (3)$$

где $\bar{\varepsilon}_V$ - коэффициент объемного разрыхления вмещающих пород, r_L^* - критический радиус пластической области.

Эта функция в явном виде относительно r_L^* аппроксимируется с достаточной точностью в пределах реальных значений $\bar{\varepsilon}_V$ степенным выражением

$$r_L^* = 1 + \bar{\varepsilon}_V^{-0,4} \quad (4)$$

Формирование пластической зоны расширения массива пород вокруг выработки, определяемой радиусом r_L , зависит от горно-геологических и геомеханических факторов, которые через параметр $\theta = \frac{\gamma H - P_0}{R_c K_c}$ аппроксимируются зависимостью

$$r_L = a \exp b\theta = 0,8 \exp 0,5 \left(\frac{\gamma H - P_0}{R_c K_c} \right) \quad (5)$$

Тогда коэффициент устойчивости (1) с учетом (4) и (5) определится выражением

$$K_y(S) = \frac{r_L^*}{r_L} = \frac{1 + \bar{\varepsilon}_r^{-0.4}}{a \exp b \left(\frac{\gamma H - P_0}{R_c K_c} \right)} \quad (6)$$

В этом выражении фигурируют два основных параметра, определяющих условия формирования и развития процесса пучения: параметр θ , определяющий горно-геологические условия эксплуатируемой выработки, включающие глубину залегания, прочность окружающих пород с оценкой его структурных особенностей, отпор крепи, и параметр $\bar{\varepsilon}_r$ - объемное разрыхление вмещающих пород, определяющая особенности физического процесса разрушения пород в объемном напряженном состоянии на основе оценок величины объемного расширения пород.

Таким образом, количественная оценка возникновения процесса пучения зависит от характеристик случайной функции $K_y(S)$, эта оценка получается в результате преобразования случайных функций $r_L^*(S)$ и $r_L(S)$ в соответствии с оператором (формулой) (1).

Оператор (1) является нелинейным, поэтому необходимо применять принцип линеаризации оператора [6], который заключается в замене выражения (1), связывающего случайные функции, приближенным линейным выражением, достаточно хорошо отражающим зависимость между случайными функциями в области их возможных реализаций - математических ожиданий m_{r^*} и m_r .

Тогда математическое ожидание m_K и дисперсия D_K коэффициента устойчивости определится выражениями

$$m_K = \frac{m_{r^*}}{m_r}, \quad (7)$$

$$D_K = \frac{1}{m_r^2} (D_{r^*} + m_K^2 D_r). \quad (8)$$

Математическое ожидание и дисперсия, которые входят в формулу (7) и (8), являются нелинейными функциями (4) и (5) случайных аргументов $\theta, \gamma, H, R_c, K_c, P_0, \bar{\varepsilon}_r$.

Статистические характеристики, входящие в формулы (7) и (8) определяются выражениями

$$m_r = f(m_r) = 1 + m_{\varepsilon_v}^{-0,4}, \quad (9)$$

$$D_r = \left[\frac{\partial m_{\varepsilon_v}}{\partial m_{\varepsilon_v}} \right]^2 D_{\varepsilon_v} = 0,16 m_{\varepsilon_v}^{-2,8} \quad (10)$$

$$m_r = \varphi(m_r, m_H, m_{P_0}, m_{R_c}, m_{K_c}) = 0,8 \exp 0,5 \frac{m_r m_H - m_{P_0}}{m_{R_c} m_{K_c}}, \quad (11)$$

$$D_r = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial m_i} \right)^2. \quad (12)$$

Таким образом, коэффициент устойчивости $K_y(S)$ как случайная функция определяется выражениями (7-12) в виде его числовых характеристик – математического ожидания m_K и дисперсии D_K .

Нас интересует характеристика устойчивости выработки в целом – какая часть L_y от общей длины выработки L будет устойчива, то есть,

$$W = \frac{L_y}{L}. \quad (13)$$

Эта величина является количественной оценкой устойчивости (показатель устойчивости), выраженной в относительной мере со значениями между нулем и единицей.

Определяется значение W на основе решения задачи установления длительности пребывания случайной функции (1) выше ее значения, равного 1. Такая задача в теории вероятностей формулируется как задача о выбросах [5,6].

Рассматриваются выработки, каждая из которых проходится и эксплуатируется примерно одинаковыми по длине горно-геологическими условиями.

Для таких выработок указанные выше случайные функции характеризуются постоянными по длине математическими ожиданиями и дисперсиями (стационарные функции).

На основе решения задачи и выбросах получено выражение для определения показателя устойчивости

$$W = 1 - \Phi \left(\frac{1 - m_K}{\sqrt{D_K}} \right). \quad (14)$$

Полученная формула дает показатель устойчивости W при вычисленных по формулам (7-12) значениям коэффициента устойчивости m_K и дисперсии

D_K . Для этих вычислений необходимы, как видно из формул (9-12), статистические характеристики горно-геологических и горнотехнических параметров (шесть параметров соответственно двенадцать статистических характеристик).

В выражении (14) $\Phi\left(\frac{1-m_K}{\sqrt{D_K}}\right)$ - функция Лапласа, равная

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (15)$$

где $t = \frac{1-m_K}{\sqrt{D_K}}$.

Функция $\Phi(t)$ табулирована в [7].

Из содержания полученного решения видно, что для улучшения состояния выработки необходимо повышать величину коэффициента устойчивости. Повысить его можно, если сохранить или увеличить прочность вмещающих пород (R_c), сохранить структуру пород, не допустив влияния атмосферной влаги или воды, или сильного воздействия буровзрывных работ (K_c) (комбайновая проходка), сделать разгрузку вмещающих пород путем отвода вглубь массива концентрации напряжения (уменьшение естественного горного давления от веса пород (γH)), обеспечить крепью достаточный и надежный боковой отпор (P_o) и тем самым уменьшить величину $\bar{\epsilon}_r$ объемного разрыхления окружающих пород, уменьшив тем самым размер r_L зоны неупругих деформаций.

Благодаря полученным зависимостям, отмеченные выше и другие мероприятия можно подвергнуть предварительному анализу путем сопоставления аналитических расчетов с шахтными данными о реальном состоянии выработок в статистических отчетах, в которых эти данные приводятся тоже в форме показателя устойчивости W как отношение (13).

Устойчивость выработки зависит от многих факторов, и вероятностное их представление значительно усложняет расчеты, делает их многовариантными, поэтому большие возможности эффективного решения задач - в разработке компьютерных программ и связанных с ними автоматизированных расчетных систем.

Полученные аналитические решения являются основой алгоритмизации

таких разработок.

Расчеты для реальных условий показывают, что основой таких построений является четкое определение возможных решений практических задач и вариантов формирования обратных связей в условиях возрастания статистической информации.

Приведем для реальных условий Донбасса примеры расчета устойчивости выработки.

Необходимо дать прогноз устойчивости конвейерного штрека длиной $L = 1950$ м на глубине 430 м, пройденного в неоднородных аргиллитах. Исследования условий проведения выработок дали необходимость статистические характеристики: математические ожидания $m_\gamma = 2,4$ т/м³; $m_H = 430$ м; $m_{K_c} = 30$ МПа = 3000 тс/м²; $m_{\bar{\epsilon}_v} = 0,09$; $m_{K_c} = 0,34$; $m_{\rho_0} = 6,6$ тс/м². Дисперсии определяются через относительные вариации по формуле $D_i = (m_i \eta_i)^2$. Значения относительных вариаций: $\eta_\gamma = 0,08$; $\eta_H = 0,04$; $\eta_{K_c} = 0,36$; $\eta_{K_c} = 0,38$; $\eta_{\bar{\epsilon}_v} = 0,24$; $\eta_{\rho_0} = 0,51$.

Коэффициент устойчивости равен (формулы 7, 9, 11) 2,74. Дисперсия коэффициента устойчивости D_K и относительная вариация η_K равны (формулы 8, 10, 11) 0,571 и 0,27.

Показатель устойчивости определяется по формуле (14)

$$W = 1 - \Phi\left(\frac{1 - 2,74}{\sqrt{0,571}}\right) = 1 - \Phi(-2,30) = 0,99.$$

Показатель высокий – практически полная устойчивость.

Разработка этого пласта по планам шахт распространится до глубины 700 м. Расчеты для этой глубины дают показатель устойчивости $W = 0,87$ – примерно 13% выработки по длине будут нарушены, устойчивость штрека существенно ниже. Значения $m_K = 2,0$; $\eta_K = 0,44$.

В перспективе этот пласт можно разрабатывать и на глубине 1500 м. Однако, расчеты дают показатель устойчивости $m_K = 0,38$ – выработка при принятом способе поддержания будет разрушена. Значение $m_K = 0,78$; $\eta_K = 0,92$.

Аналогичные просчеты и анализы можно выполнять по любым параметрам, входящим в расчетные формулы.

На рисунке показаны графики зависимости показателя устойчивости W в

зависимости от значения коэффициента устойчивости m_k и относительной вариации η_k , которые можно использовать и в качестве номограмм. Пунктиром показан порядок пользования номограммой для приведенных выше расчетных данных, показывающих влияние глубины разработки на устойчивость выработки

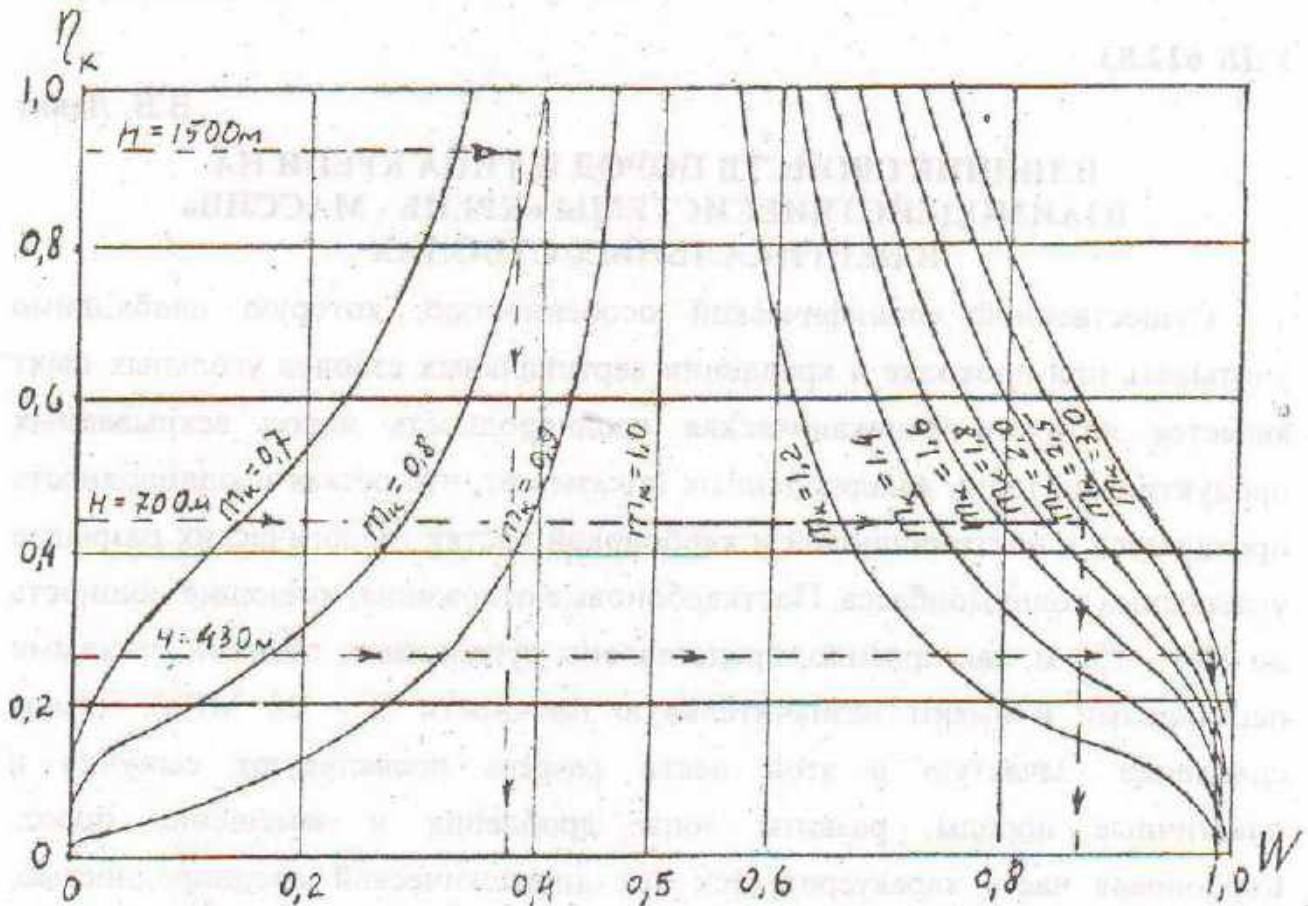


Рисунок — Зависимость показателя устойчивости W от статистических характеристик m_k и η_k .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гелескул И.Н., Каретникова В.Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных выработок. — М.: Недра. — 1982. — 480 с.
2. Каретников В.Н., Клейменов В.Б., Нуждихин А.Г. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок // Справочник. — М.: Недра. — 1989. — 572 с.
3. Либерман Ю.М. Давление на крепь капитальных выработок. — М.: Наука. — 1969. — 119 с.
4. Шашенко А.М. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве / Дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. — Днепропетровск ДГИ, 1988.
5. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. — М.: Физматгиз. — 1962. — 884 с.

6. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. — Л.: Судпромгиз. — 1961. — 252 с.

7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Наука. — 1969. — 576 с.

УДК 622.83

В.В. Левит

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПОРОД И ТИПА КРЕПИ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕСИСТЕМЫ «КРЕПЬ - МАССИВ» В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛАХ

Существенной специфической особенностью, которую необходимо учитывать при проходке и креплении вертикальных стволов угольных шахт является литолого-геомеханическая неоднородность пород вскрываемых продуктивных толщ. Анализ данных показывает, что резкая неоднородность проявляется в посткарбоновой и карбоновой частях геологических разрывов угленосных толщ Донбасса. Посткарбоновые отложения, имеющие мощность до 100 — 150 м, как правило, представлены суглинками, глинами, рыхлыми песчаниками и имеют незначительную прочность (5 — 20 МПа), низкое сцепление. Зачастую в этой части разреза преобладают сыпучие и пластичные породы, развиты зоны дробления и замещения пород. Карбоновая часть характеризуется как литологической неоднородностью, вызванной чередующимися слоями геоматериалов (уголь, породы), так и механической, — обусловленной их разнопрочностью. Породы карбоновых отложений, как известно, представлены преимущественно аргиллитами, алевролитами, глинистыми и песчаными сланцами, песчаниками, реже известняками, которые по прочности иногда отличаются на два порядка.

В связи с этим проблема устойчивости глубоких вертикальных стволов требует решения трех главных взаимосвязанных задач: оценки литолого-геомеханических условий проходки, изучения и описания геомеханических процессов вблизи стволов с учетом структурно-механических свойств пород, обоснования конструктивно-технологических решений по управлению состоянием системы «крепь — породный массив», учитывающих изменение указанных свойств пород во времени и пространстве. О том, что эти задачи далеки от своего решения свидетельствуют исследования НИИОМШС [1]. Выполненный анализ факторной значимости в нарушениях крепи стволов